

Điều khiển động cơ bằng arduino

Bài viết hôm nay xin giới thiệu đến các bạn phương pháp điều khiển tốc độ motor DC bằng Arduino. Tìm hiểu về nguyên lý sơ đồ mạch điện và lập trình điều khiển Arduino.

1. Nguyên lý điều khiển tốc độ motor DC bằng Arduino

Để thay đổi tốc độ động cơ một chiều người ta có thể mắc điện trở điều chỉnh vào phần ứng, thay đổi điện áp đặt vào động cơ, thay đổi từ thông.

Phương pháp thay đổi điện áp được sử dụng rộng rãi. Do khoảng điều chỉnh tốc độ rộng và giá thành rẻ. Diễn hình là phương pháp thay đổi điện áp bằng cách điều chế độ rộng xung PWM. Người ta dùng mạch điện tử để thay đổi điện áp ngoặt ra dưới dạng xung điện có tần số không đổi, việc thay đổi độ rộng xung sẽ thay đổi điện áp và dòng điện trung bình ngoặt ra.

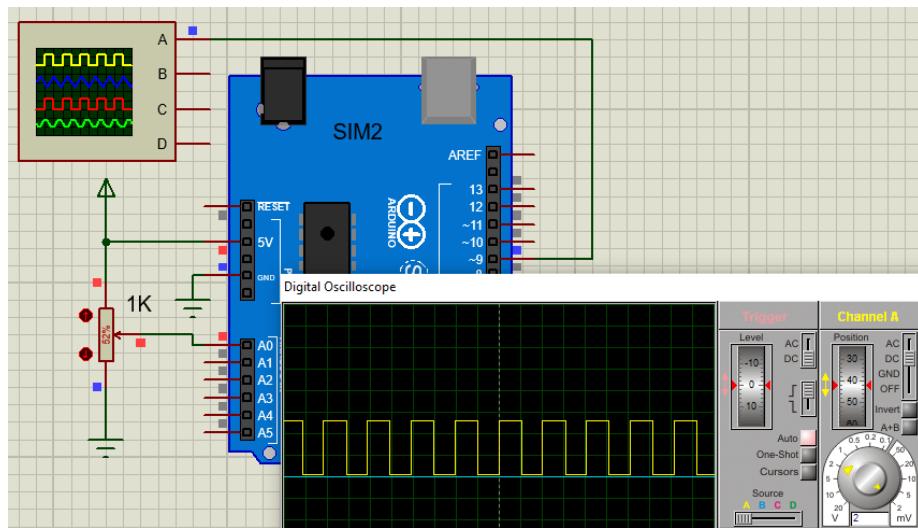


Phương pháp điều chế độ rộng xung PWM

2. Lập trình Arduino điều khiển tốc độ

Ở board Arduino UNO có thể xuất xung PWM có tần số không đổi 490Hz ở các chân 3,8,9,11 và tần số 980Hz ở chân 5,6.

Ví dụ dưới đây dùng Arduino đọc giá trị biến trở ở chân A0 và xuất PWM ở chân 9.



Mô phỏng xuất xung PWM bằng Arduino

Chương trình Arduino trên phần mềm IDE được viết như sau:

```

int bientro=0;
void setup() {
}
void loop() {
    bientro=analogRead(0);
    analogWrite(9,bientro/4);
}

```

Hàm **analogRead** đọc giá trị biến trở ở chân Analog 0, giá trị này từ 0 – 1023 tương ứng với điện áp đọc được từ 0 – 5V.

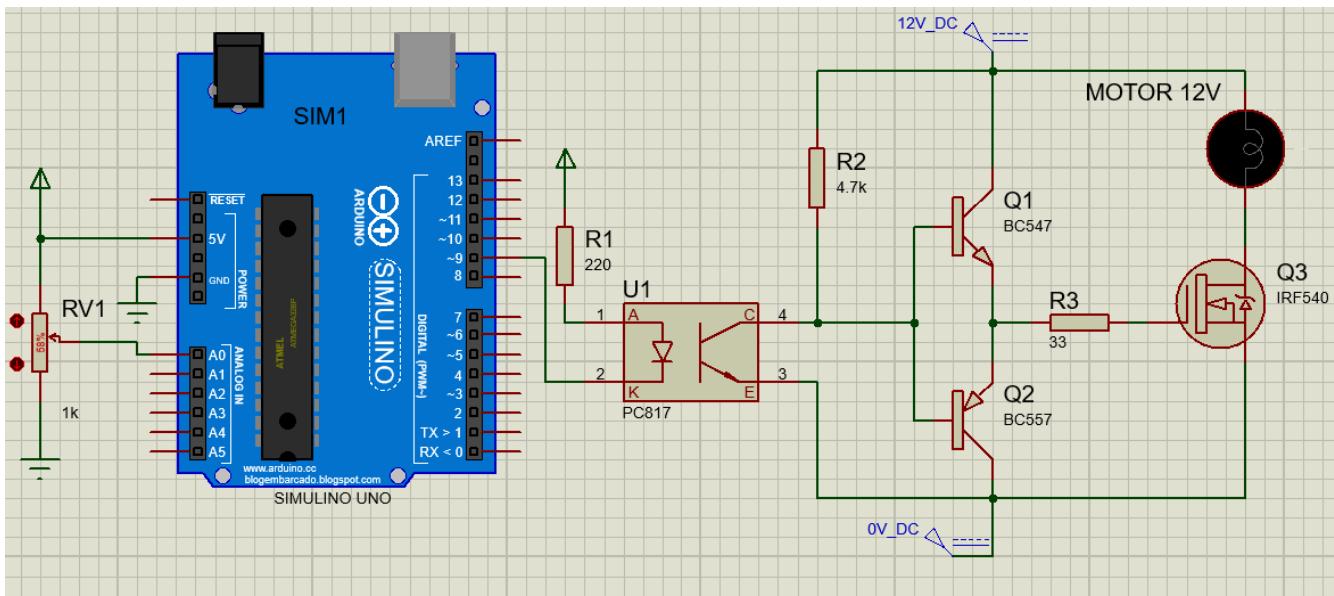
Hàm **analogWrite** xuất xung PWM ở chân 9, có độ rộng xung từ 0 – 100% tương ứng với giá trị đầu vào từ 0 – 255.

Video mô phỏng Arduino xuất xung PWM trên phần mềm proteus:

<https://youtu.be/nhVb6TScnG0>

3. Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng Arduino

Sơ đồ mạch được vẽ như hình bên dưới:

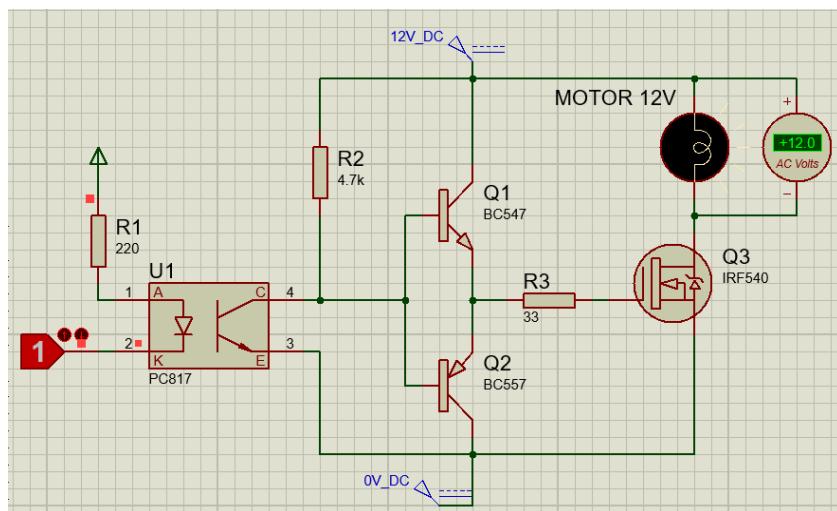


Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC

Nguyên lý hoạt động: Arduino sẽ xuất xung PWM tùy thuộc vào giá trị biến trở RV1 đọc được. Xung PWM sẽ điều khiển đóng mở Mosfet Q3. Arduino được cách ly với phần công suất bởi opto PC817.

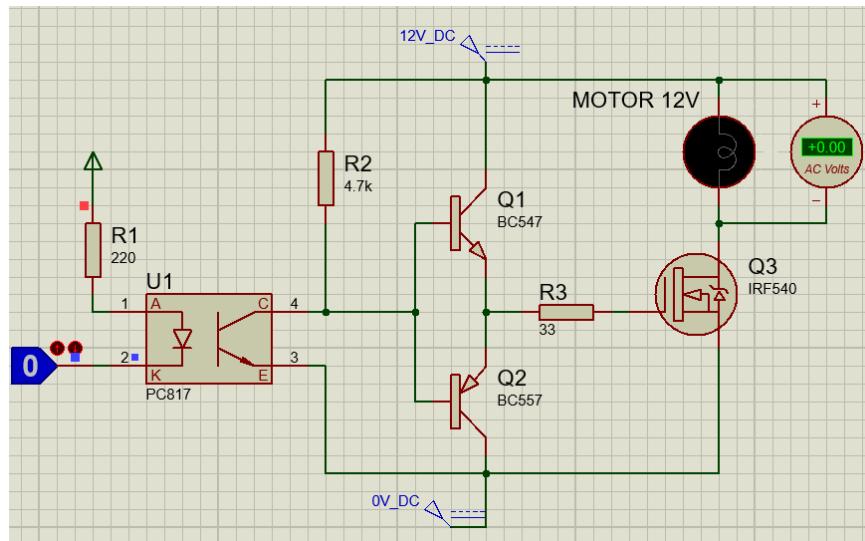
+ Khi xung PWM ở mức cao: LED của opto PC817 không sáng, dẫn đến cực CE hở. Khi đó điện trở R2 sẽ kéo điện áp cực B của hai transistor Q1, Q2 lên 12V. Lúc này transistor Q1 được phân cực sẽ dẫn điện; dòng điện chạy qua Q1, R3 kích mở mosfet Q3. Do Q3 dẫn điện nên điện áp đo được hai đầu động cơ là 12V.

Do bên trong mosfet có điện dung ký sinh, để giảm dòng điện nạp cho tụ điện này ta mắc thêm điện trở R_3 ở cực G của mosfet.



Điện áp xung PWM ở mức cao

+ Khi xung PWM ở mức thấp: LED của opto PC817 sáng nên transistor bên trong opto được kích dẫn, hai chân CE lúc này như công tắc đóng. Khi đó điện áp cực B của hai transistor Q1 và Q2 kéo về 0V. Lúc này Q2 dẫn điện, do điện dung kỵ sinh Mosfet Q3 xả điện qua điện trở R3 và Q2. Do cực G Mosfet Q3 về mức thấp nên Q3 không dẫn. Nên điện áp hai đầu động cơ đo được là 0V.



Điện áp xung PWM ở mức thấp

Video mô phỏng mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng Arduino:

<https://youtu.be/VnBfI7KraY>

Nhận xét: Xung PWM của Arduino và xung ngõ ra động cơ ngược pha nhau. Nhưng do điện áp xung ngõ ra được đo ở phía dưới động cơ nên khi giá trị độ rộng xung 100% thì động cơ sẽ ngừng quay. Do đó khi giá trị biến trở lớn nhất thì tốc độ động cơ lớn nhất.

**Tài Liệu
Tham
Khảo**

[1] <https://www.arduino.cc/en/tutorial/potentiometer>, 1/1/2021.

[2] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM/>, 1/1/2021.

Điều khiển tốc độ động cơ bằng PWM

Bài viết hôm nay xin giới thiệu đến các bạn phương pháp điều khiển tốc độ motor DC bằng PWM. Tìm hiểu về nguyên lý sơ đồ mạch điện và các mạch tạo xung PWM.

1. Nguyên lý điều khiển tốc độ motor DC bằng PWM

Điều khiển tốc độ motor bằng PWM là phương pháp thay đổi điện áp đặt vào động cơ. Người ta dùng mạch điện tử để thay đổi độ rộng của xung ngắn ra mà không làm thay đổi tần số. Sự thay đổi độ rộng xung dẫn đến sự thay đổi của điện áp.

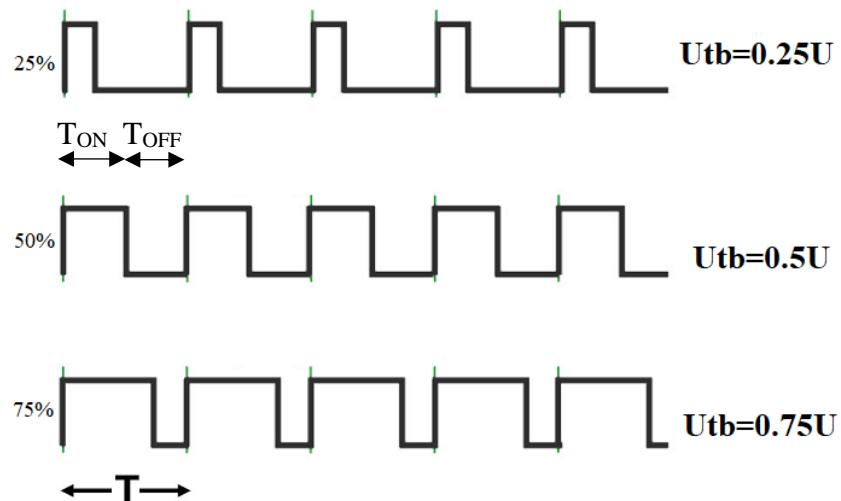
Gọi T_{ON} là thời gian xung điện áp ở mức cao trong một chu kỳ T

T_{OFF} là thời gian xung điện áp ở mức thấp trong một chu kỳ T

Ta sẽ có được: $U_{OUT} = (T_{ON} / T) * U$

Nhận xét: ở phương pháp này điện áp ngắn ra đặt vào động cơ sẽ nhỏ hơn hoặc bằng điện áp nguồn.

Ưu điểm của phương pháp này là tổn hao công suất trên thiết bị đóng cắt rất thấp. Khi khóa chuyền mạch tắt thì không có dòng điện chạy qua, khi khóa mở thì dòng điện chạy qua tải nên không có sụt áp trên thiết bị đóng cắt.



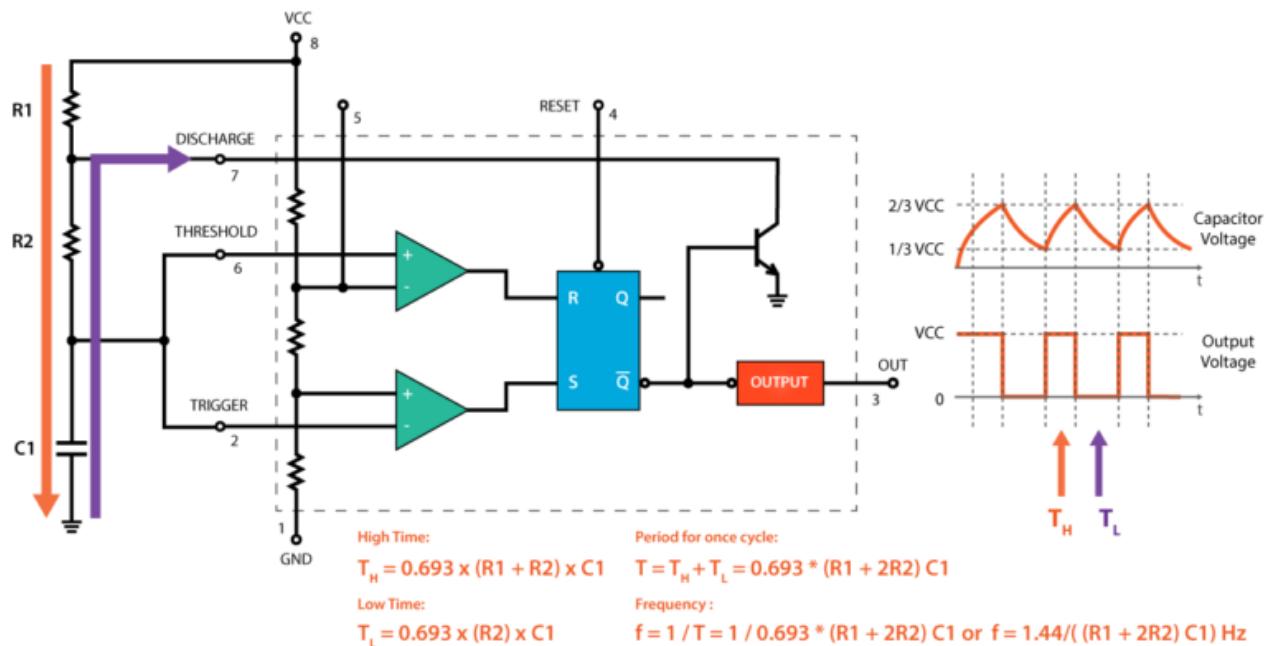
Phương pháp điều chế độ rộng xung PWM

2. Tạo xung điều khiển PWM

Có rất nhiều cách để tạo xung điều khiển PWM như lập trình vi điều khiển, dùng IC555, IC TL494,...

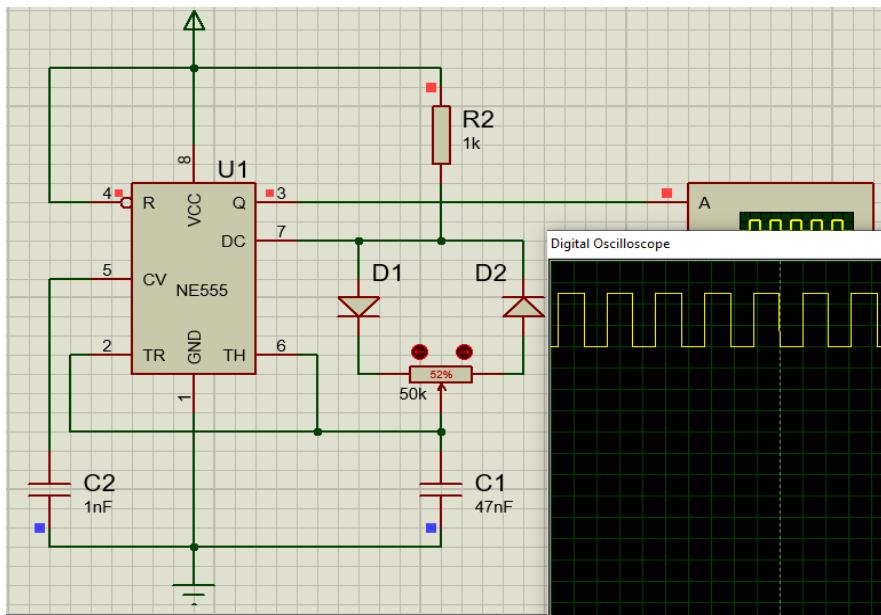
2.1 Tạo xung PWM bằng IC555

Để hiểu nguyên lý mạch tạo xung bằng IC555 ta xét mạch cơ bản như hình bên dưới. Xung răng cưa được tạo ở chân 2,6 do mạch tạo dao động R,C. Ta nhận thấy khi tụ C1 nạp thì đầu ra xung ở mức cao. Và đầu ra ở mức thấp khi tụ C1 xả qua điện trở R2.



Nguyên lý tạo xung PWM của IC555

Khi thay đổi biến trở RV1 thì tần số xung ngoả ra bị thay đổi và độ rộng của xung không thể thay đổi từ 0-100% do thời gian nạp, xả của tụ C1 thay đổi. Diode D1 và D2 dùng để ổn định tần số xung ngoả ra.



Điều chế độ rộng xung bằng IC 555

Tần số xung của mạch phụ thuộc vào giá trị điện trở R2, biến trở RV1, tụ điện C1. Chọn tụ C1 là tụ không phân cực thu được tần số ngõ ra cao, dùng tụ hóa giá trị lớn sẽ thu được tần số thấp hơn.

Video mô phỏng mạch tạo xung PWM bằng IC555 trên phần mềm proteus:

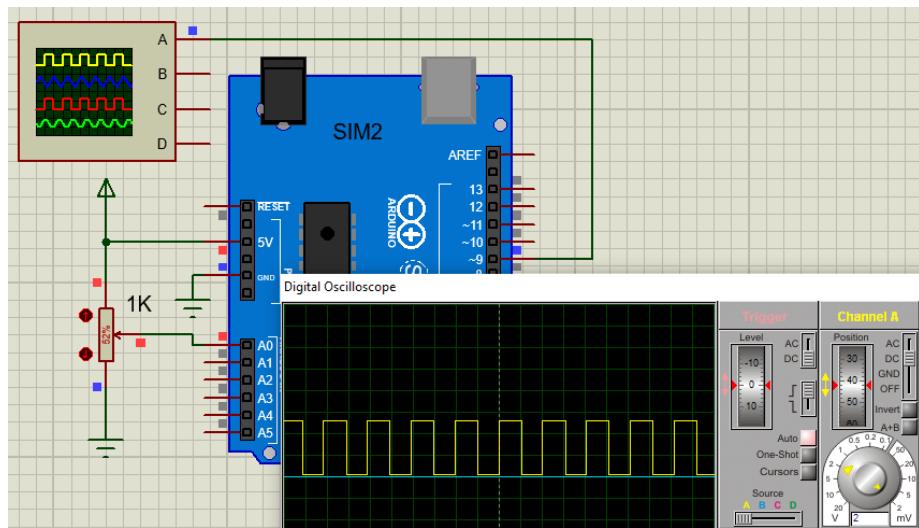
https://www.youtube.com/watch?v=AxjXVI_tWU4

2.2 Tạo xung PWM bằng vi điều khiển Arduino

Ở board Arduino UNO có thẻ xuất xung PWM có tần số 490Hz ở các chân 3,8,9,11 và tần số 980Hz ở chân 5,6.

Để xem chi tiết cách lập trình Arduino vui lòng xem lại bài viết trước:

[Điều khiển tốc độ động cơ bằng Arduino](#)



Mô phỏng xuất xung PWM bằng Arduino

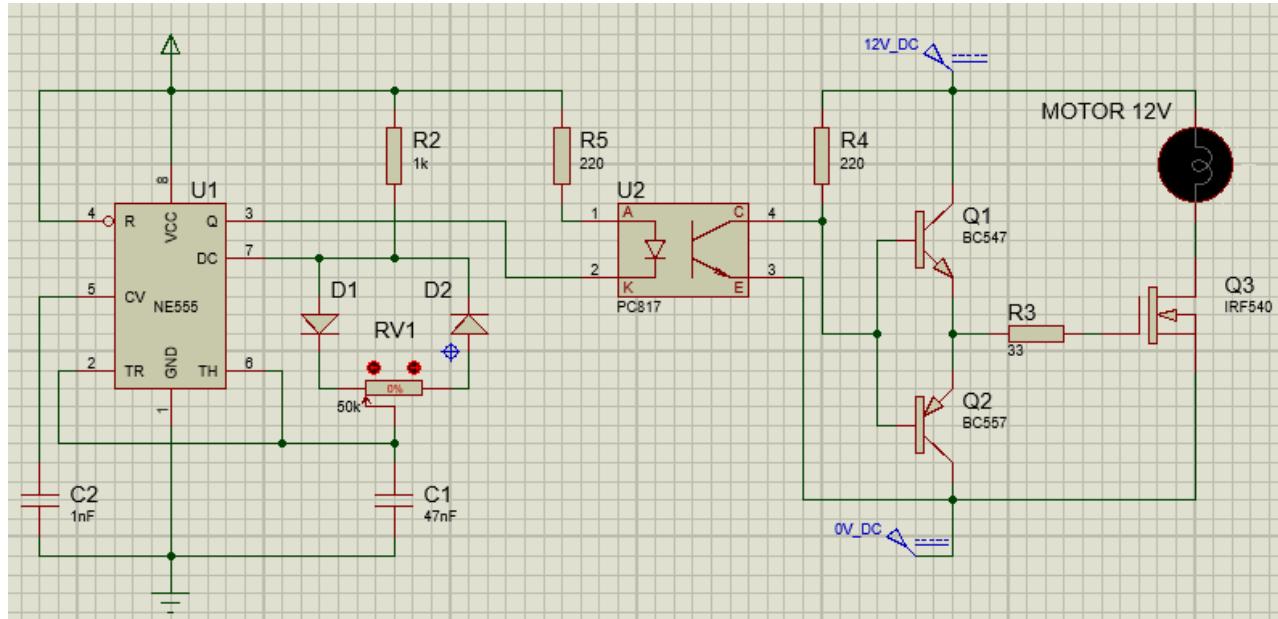
Video mô phỏng Arduino xuất xung PWM trên phần mềm proteus:

<https://youtu.be/nhVb6TScnG0>

3. Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng PWM

Dòng điện cho phép ngõ ra của vi điều khiển hay IC555 luôn nhỏ hơn 200mA. Để điều khiển động cơ cần sử dụng các khóa công suất bán dẫn như IGBT hay Mosfet.

Sơ đồ mạch điều khiển được vẽ như hình bên dưới:



Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng PWM

Nguyên lý hoạt động: Mạch IC555 xuất xung điều khiển PWM có điện áp ở mức cao là 5V. Xung điều khiển được cách ly thông qua opto quang PC817. Do Mosfet chỉ dẫn hoàn toàn khi điện áp kích ở cực G từ 12 - 18V, do đó cần mạch đệm sử dụng hai transistor Q1,Q2. Điện trở R3 giảm dòng điện nạp của tụ kỵ sinh ở Mosfet.

Chi tiết nguyên lý mạch điều khiển tốc độ động cơ xem lại bài viết trước:

Điều khiển tốc độ động cơ bằng Arduino

Video mô phỏng mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng PWM:

<https://youtu.be/zlXYqWaB79Y>

Nhận xét: Xung PWM của IC555 và xung ngõ ra động cơ ngược pha nhau. Nhưng do điện áp xung ngõ ra được đo ở phía dưới động cơ nên khi giá trị độ rộng xung 100% thì động cơ sẽ ngừng quay. Do đó khi giá trị biến trở lớn nhất thì tốc độ động cơ lớn nhất.

Tài liệu tham khảo

[1] https://vi.wikipedia.org/wiki/%C4%90i%E1%BB%81u_ch%E1%BA%BF_%C4%91%E1%BB%99_r%E1%BB%99ng_xung, 2/1/2021

[2] <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electronics/how-to-make-pwm-dc-motor-speed-controller-using-555-timer-ic/>, 2/1/2021

Mạch cầu H sử dụng mosfet

Bài viết hôm nay xin giới thiệu đến bạn đọc phương pháp điều khiển tốc độ và đảo chiều động cơ điện một chiều: **mạch cầu H sử dụng Mosfet**. Cùng nhau tìm hiểu chi tiết về sơ đồ mạch điều khiển, mạch động lực và nguyên lý hoạt động của mạch cầu H.

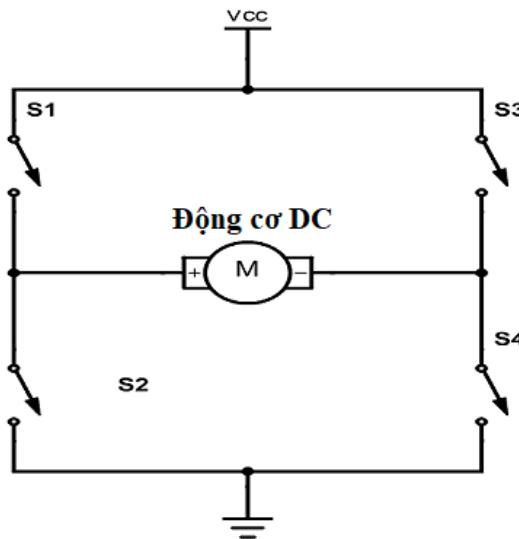
1. Nguyên lý hoạt động của mạch cầu H sử dụng mosfet

Chức năng của mạch cầu H sử dụng Mosfet là dùng để đảo chiều và điều khiển tốc độ động cơ DC.

1.1 Mạch cầu H đảo chiều động cơ

Động cơ DC đảo chiều quay khi thay đổi chiều dòng điện chạy vào động cơ. Do đó ta có thể đổi chiều cấp điện cho động cơ để làm thay đổi chiều quay.

Hình bên dưới là sơ đồ mạch cầu H đơn giản sử dụng 4 công tắc. Các công tắc có thể thay thế bằng relay hoặc các khóa bán dẫn công suất.



Sơ đồ cơ bản của mạch cầu H

+ Khi đóng đồng thời công tắc S1 và S4 thì dòng điện sẽ chạy từ nguồn VCC qua S1, động cơ, S4 và về MASS. Động cơ sẽ quay theo chiều thuận.

+ Khi đóng hai công tắc S3, S2 thì dòng điện đi theo chiều ngược lại từ S3 qua động cơ qua S2 và về MASS. Động cơ lúc này sẽ quay theo chiều ngược lại.

+ Cần lưu ý trình tự đóng mở các công tắc để tránh bị ngắn mạch.

S1	S2	S3	S4	Động cơ
----	----	----	----	---------

0	0	0	0	Không quay
1	0	0	1	Quay thuận
0	1	1	0	Quay nghịch
1	1	X	X	Ngắn mạch
X	X	1	1	Ngắn mạch

Bảng trạng thái công tắc và động cơ

Trong đó:

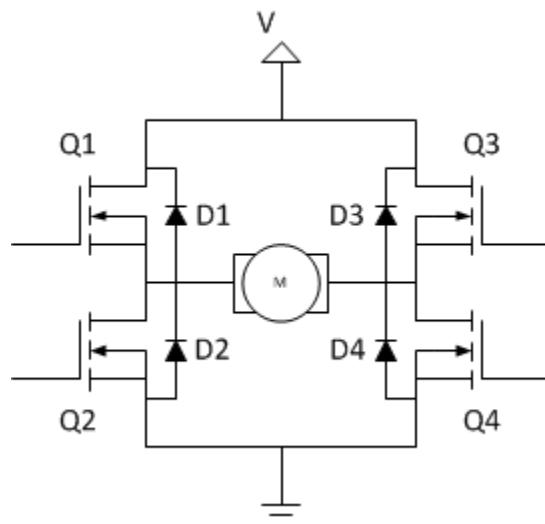
0 là công tắc mở

1 là công tắc đóng

X có thể là trạng thái 0 hoặc 1.

1.2 Mạch cầu H mosfet điều khiển tốc độ

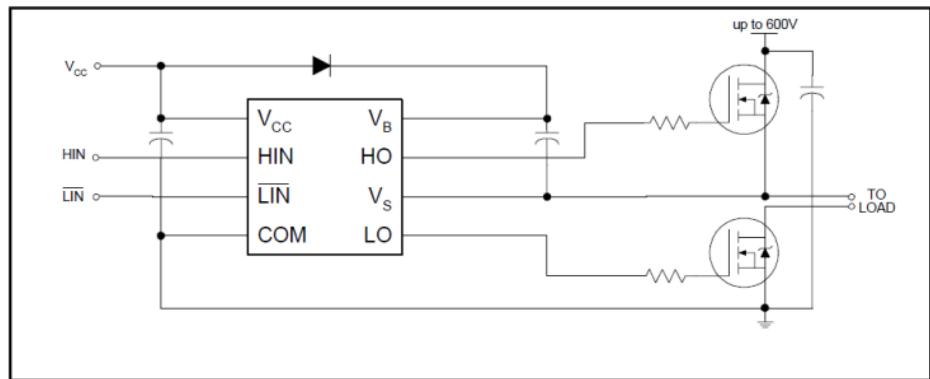
Để điều khiển tốc độ và đảo chiều động cơ thì các công tắc trên được thay bằng các khóa bán dẫn như Transistor, Mosfet, IGBT.



Mạch cầu H sử dụng Mosfet

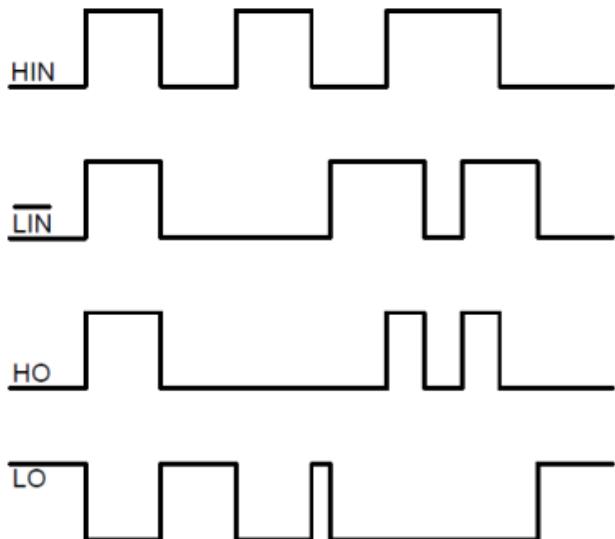
Trình tự đóng mở của khóa bán dẫn phải tuân thủ nguyên tắc như trên. Để hạn chế tổn hao trên Mosfet thì khi đóng, mở Mosfet phải đảm bảo biên độ xung kích giữa hai chân G,S của Mosfet từ 12-18V.

Ta thấy Mosfet Q1, Q3 cực D có điện áp luôn thay đổi, nên cần mạch ổn định điện áp (**mạch Bootstrap**) ở chân kích của Mosfet. Trong bài viết này sẽ dùng IC lái IR2103 để điều khiển đóng, mở các mosfet.



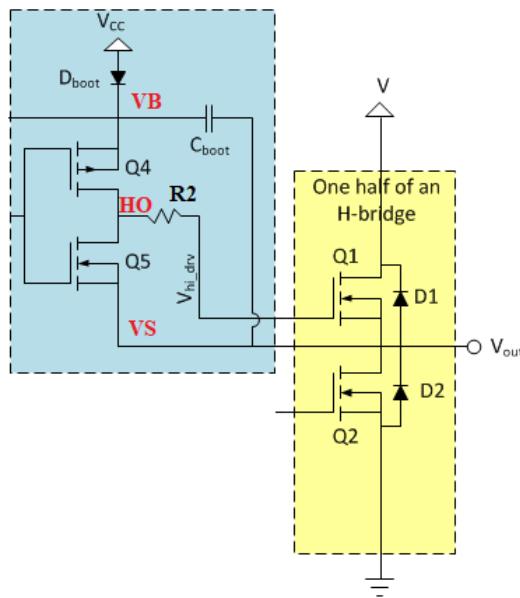
Sơ đồ mạch kích Mosfet dùng IC IR2103

Cần lưu ý khi ngõ vào H_{IN} và L_{IN} của IC IR2103. Khi ngõ vào cùng mức cao thì ngõ ra HO ở mức cao, ngõ vào cùng mức thấp thì LO ở mức cao. Khi ngõ vào khác mức điện áp thì áp ngõ ra HO , LO sẽ ở mức thấp. Điều này giúp dễ dàng điều khiển cùng lúc 4 mosfet bằng hai IC IR2103 và tránh được trường hợp ngắn mạch.



Sơ đồ mức điện áp các chân ngõ vào, ra của IC IR2103

Nguyên lý của mạch Bootstrap: Khi Mosfet Q2 dẫn thì tụ C_{BOOT} được nạp điện thông qua diode D_{BOOT} . Khi Q2 tắt thì điện áp chân S của Q1 tăng lên, tụ C_{BOOT} lúc này đóng vai trò là nguồn cấp cho mạch bên điều khiển bên trong của IC IR2103. Điều này giúp điện áp hai chân G và S của Q1 ổn định để kích Mosfet Q1 dẫn bảo hòa.

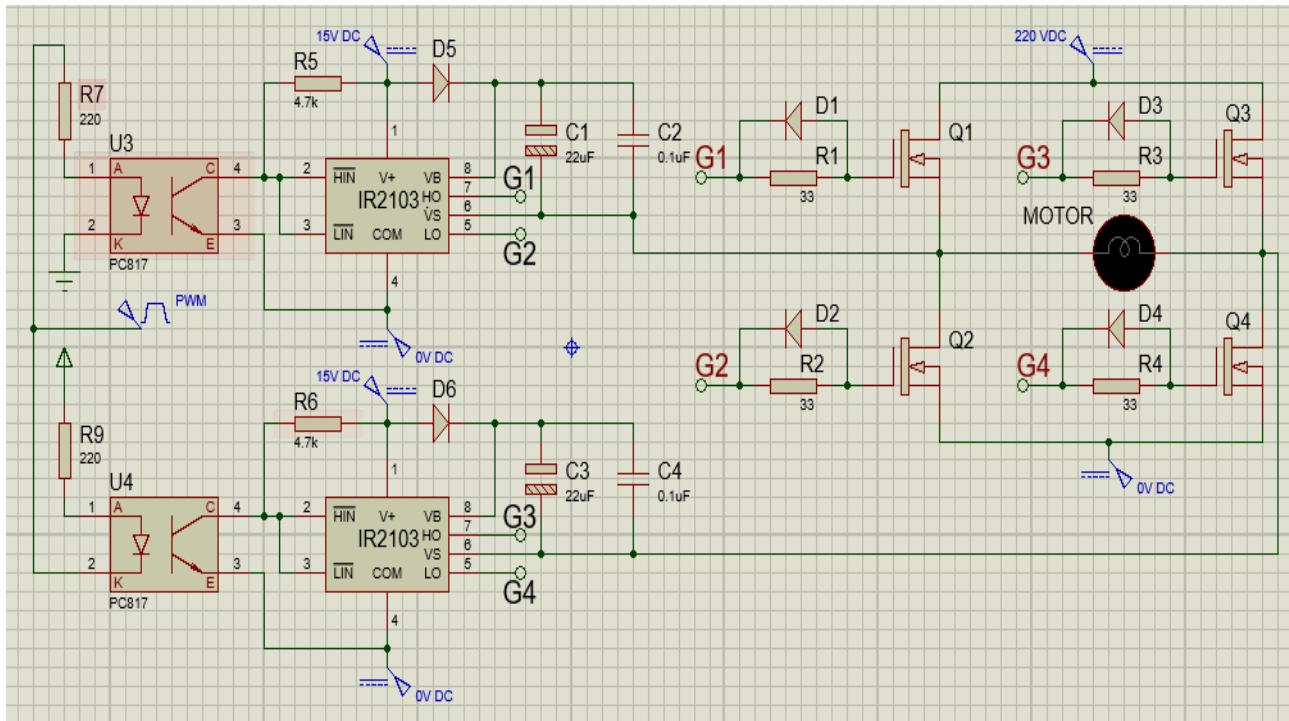


Nguyên lý mạch bootstrap

Mô phỏng mạch điều khiển cầu H trên proteus sử dụng IC IR2102. (IC IR2102 khác với IR2103 ở xung ngõ ra HO và LO cùng mức điện áp).

https://youtu.be/ZuFpdd_dXPA

Mạch cầu H sử dụng Mosfet được vẽ như hình bên dưới:



Mạch cầu H sử dụng Mosfet

Ta thấy IC IR2103 sẽ điều khiển một cặp Mosfet trên dưới (ví dụ Q1 và Q2) của cầu H. Nếu sử dụng IC khác như IC IR2102, IR2112, ... thì chỉ cần thay đổi cặp Mosfet điều khiển (Ví dụ IC IR2103 điều khiển Q1 và Q4). Điều này rất quan trọng vì tránh gây ngắn mạch ở mạch công suất.

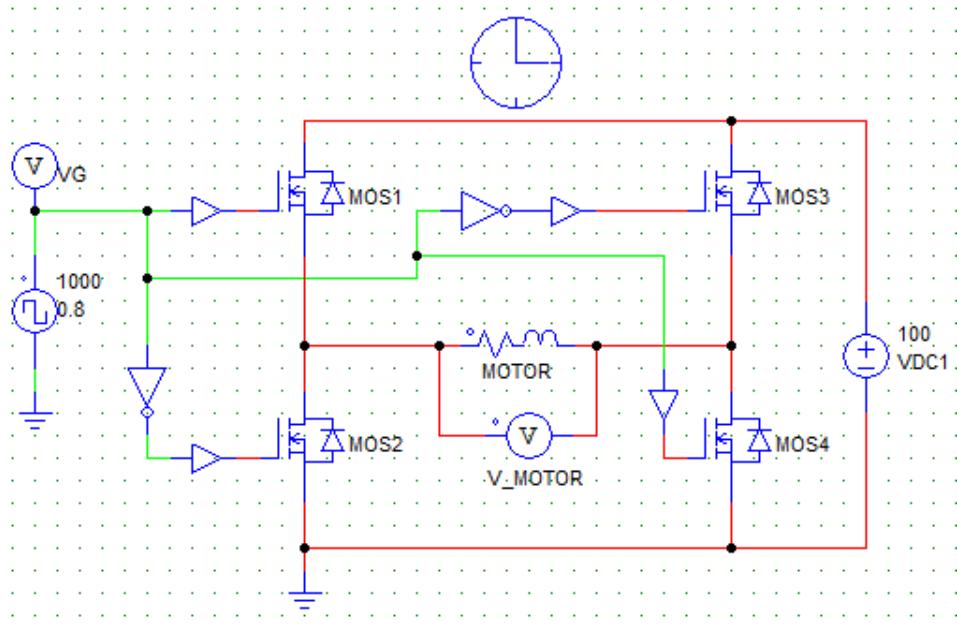
Mạch điều khiển sử dụng nguồn 5V cách ly bằng opto quang PC817. Ta lưu ý cách mắc xung PWM vào opto U3 và U4 sẽ ngược nhau, khi đi qua opto ta sẽ được hai xung PWM ngược pha nhau. Mạch lái sử dụng nguồn 15V, mạch công suất sử dụng điện áp cao tùy thuộc vào điện áp mặc định của động cơ.

Cực G Mosfet nối với điện trở và diode, mạch này giúp tụ ký sinh bên trong Mosfet xả điện nhanh. Làm cho thời gian tắt ở Mosfet nhanh hơn.

Mạch cầu H sử dụng 4 Mosfet kênh N tốc độ phụ thuộc vào độ rộng xung điều khiển. Tốc độ động cơ đạt lớn nhất lúc độ rộng xung là 0 hoặc 100%, động cơ đảo chiều ở mốc độ rộng xung 50%. Để hiểu hơn về giá trị trung bình điện áp, dòng điện ta cùng nhau mô phỏng mạch trên phần mềm PSIM.

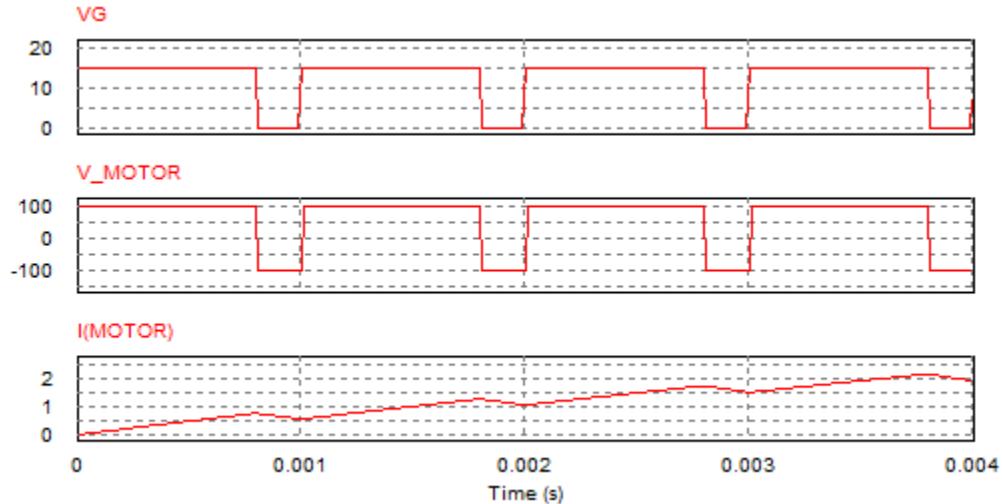
2. Mô phỏng mạch cầu H sử dụng Mosfet trên phần mềm PSIM

+ **Mạch 1:** Xung điều khiển PWM có tần số 1Khz, độ rộng xung là 80%. Điện áp nguồn là 100V DC. Sơ đồ mô phỏng được vẽ như hình bên dưới.



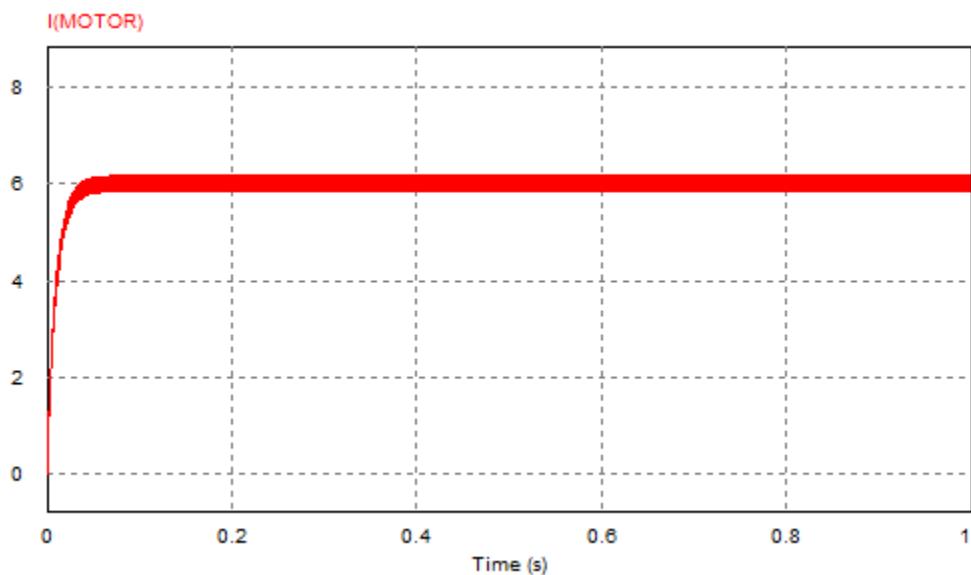
Mô phỏng xung kích có độ rỗng xung 80%

Điện áp đo trên động cơ là xung điện tàn số 1kHz, biên độ $\pm 100V$. Điện áp trung bình trên động cơ lúc bằng $U_{TB} = 100*0,8 - 0,2*100 = 60V$. Dòng điện động cơ đang tăng vì ở các chu kỳ đầu chưa ổn định.



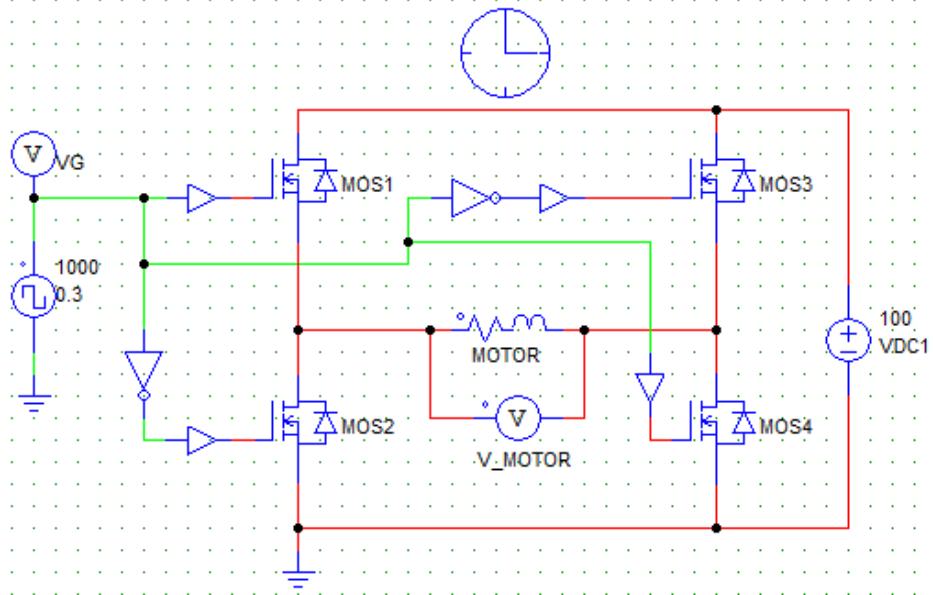
Điện áp và dòng điện ngõ ra với xung PWM 80%

Ta tăng thời gian mô phỏng lên 1s để xem đồ thị dòng điện khi ổn định. Với điện trở động cơ bằng 10, thì giá trị dòng điện trung bình $I_{TB} = U_{TB}/R = 60/10 = 6A$.



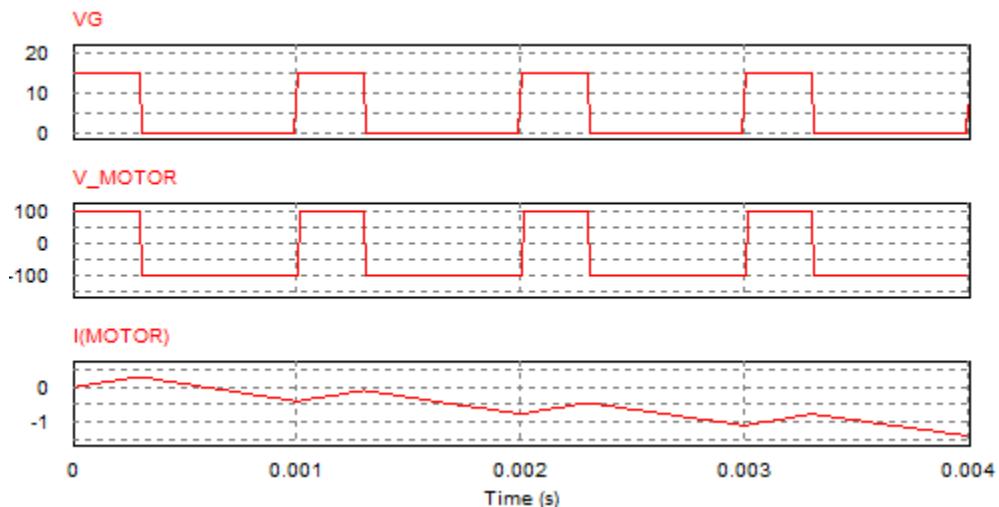
Dòng điện động cơ khi ổn định

+ **Mạch 2:** Xung điều khiển PWM có tần số 1Khz, độ rộng xung là 30%.



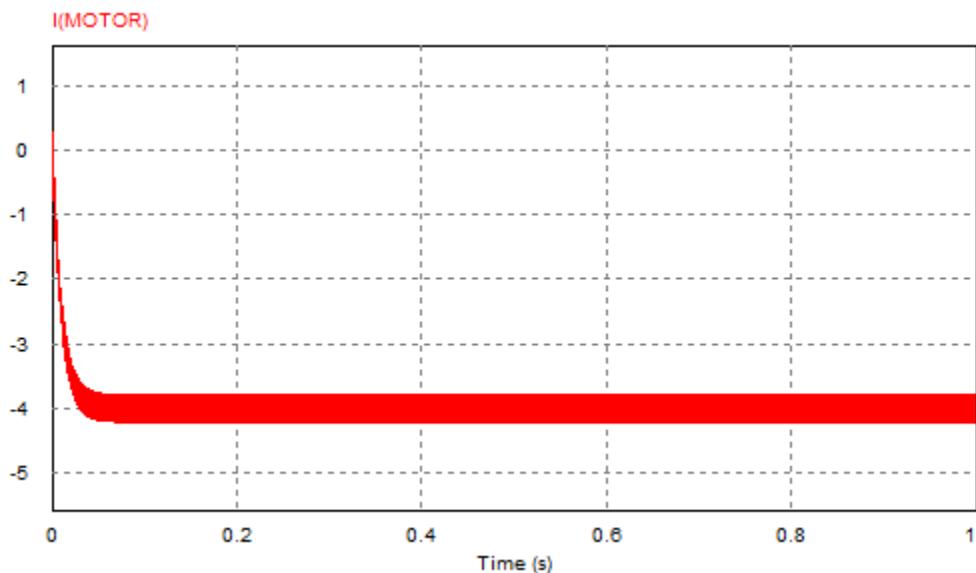
Mô phỏng xung kích có độ rộng xung 30%

Úng với xung kích PWM 30% ta có điện áp trung bình trên động cơ là $U_{TB} = 0,3*100 - 0,7*100 = -40V$. Ta thấy dòng điện có giá trị âm, do đó động cơ có chiều quay ngược với trường hợp trên.



Điện áp và dòng điện ngoả ra với xung PWM 30%

Dòng điện trung bình lúc này sẽ bằng $I_{TB} = U_{TB}/R = -4A$. Tăng thời gian mô phỏng lên 1s để quan sát dòng điện lúc xác lập.



Dòng điện động cơ khi ổn định

- Kết luận mạch cầu H sử dụng 4 mosfet kênh N:

- + Mạch kích Mosfet không phụ thuộc nguồn công suất, nghĩa là động cơ 24V hay 200V đều có thể chạy được.
- + Mạch điều khiển được đảm bảo cách ly tốt.
- + Mạch được test với tải R, dạng sóng ra vuông tốt.
- + Động cơ DC thay đổi tốc độ khi thay đổi độ rộng xung và đảo chiều quay khi độ rộng xung giảm nhỏ hơn 50%.

Tài Liệu Tham Khảo

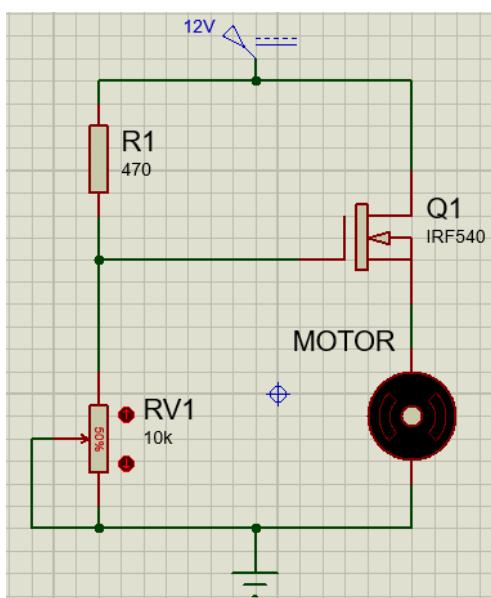
- [1] I. rectifier, "Datasheet IR2103," 4/2013.
- [2] <http://www.dientuvietnam.net>, "Mạch tăng tốc độ kích Mosfet," 6/1/2021.

Tổng hợp 5 mạch điều khiển tốc độ động cơ

Bài viết hôm nay chúng ta cùng nhau tìm hiểu về các **sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC**. Bài viết này là sự tổng hợp của các phương pháp điều khiển tốc độ động cơ một chiều. Phân tích ưu điểm, nhược điểm và nguyên lý hoạt động của từng mạch điện.

1. Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ động cơ DC 12V dùng Mosfet đơn giản

Mạch điện đơn giản điều khiển động cơ DC bằng Mosfet, điều chỉnh tốc độ bằng biến trờ. Dựa trên nguyên lý cầu phân áp, điều chỉnh điện áp ở cực G để điều khiển Mosfet. Điện áp phân áp tăng thì điện áp rơi trên Mosfet giảm, tốc độ động cơ tăng lên.



Mạch điều khiển tốc độ động cơ DC đơn giản

Mạch điện đơn giản chỉ với vài linh kiện có thể thay đổi điện áp động cơ DC 12 V công suất nhỏ. Nhược điểm mạch này là công suất nhỏ do điện áp rơi trên Mosfet lớn, nếu động cơ lớn sẽ làm nóng mau chết Mosfet. Thiết kế này làm Mosfet không dẫn bảo hòa nên động cơ không thể đạt tốc độ đổi đà.

[Video mô phỏng mạch trên phần mềm proteus](#)

<https://youtu.be/gejjUEZU1Zc>

[Video thực tế mạch điều tốc động cơ DC](#)

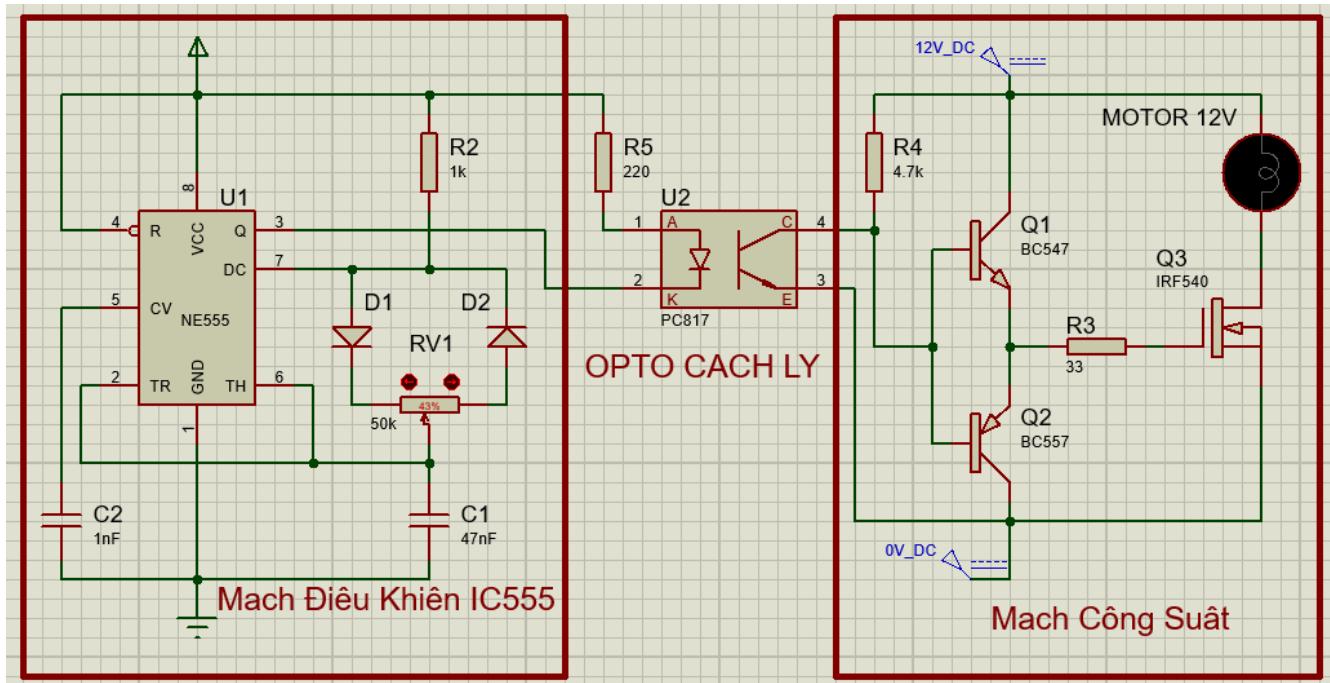
https://www.youtube.com/watch?v=W762NTuQ19g&feature=emb_title

2. Mạch điều khiển tốc độ motor dùng IC555

IC NE555 nhận xung điện áp có dạng xung răng cưa do mạch R, C tạo ra tại chân 2, 6. Sau khi qua IC555 ta được xung vuông, có độ rộng xung có thể thay đổi được. Tần số xung điện phụ thuộc vào giá trị R, C.

IC555 tạo ra xung PWM điều khiển đóng mở Mosfet công suất. Tốc độ động cơ một chiều sẽ phụ thuộc vào độ rộng xung PWM.

Sơ đồ mạch điện như hình bên dưới.



Mạch điều khiển tốc độ dùng IC555

+ Ưu điểm: Không cần phải lập trình, mạch giá rẻ nhưng công suất lớn. Dãy điều khiển tốc độ rộng và hiệu suất cao. Điều khiển được động cơ có điện áp cao.

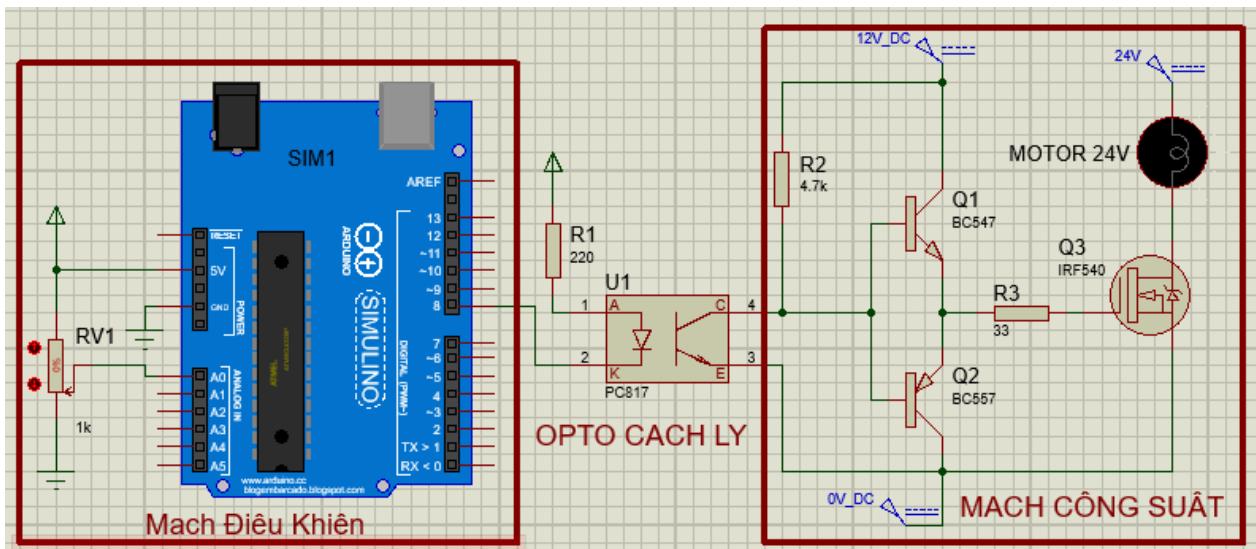
+ Nhược điểm: Mạch khá phức tạp, không thể điều khiển chiều động cơ.

Video mô phỏng mạch dùng IC555

<https://www.youtube.com/watch?v=zIXYqWaB79Y>

3. Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor DC bằng arduino

Tương tự với mạch điều khiển bằng IC555, chỉ khác ở mạch điều khiển dùng vi điều khiển Arduino thay vì IC555. Arduino có khả năng tạo xung PWM có tần số 490Hz và 980Hz.



Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor dc

+ **Ưu điểm:** Mạch đơn giản, có công suất và hiệu suất cao. Vì được lập trình nên có thể dễ dàng thay đổi bằng phần mềm. Và có thể mở rộng thêm các ứng dụng khác chạy song song.

+ Nhược điểm: Arduino UNO có giá 130 nghìn VND (Giá tham khảo trên Hshop.vn), giá cao hơn so với mạch dùng IC555. Cần lập trình cho Arduino đọc giá trị biến trở và xuất xung PWM. Không thể đảo chiều động cơ.

Video mô phỏng mạch điện:

<https://youtu.be/VnBfI7KraY>

4. Mạch cầu H dùng 4 Mosfet kênh N

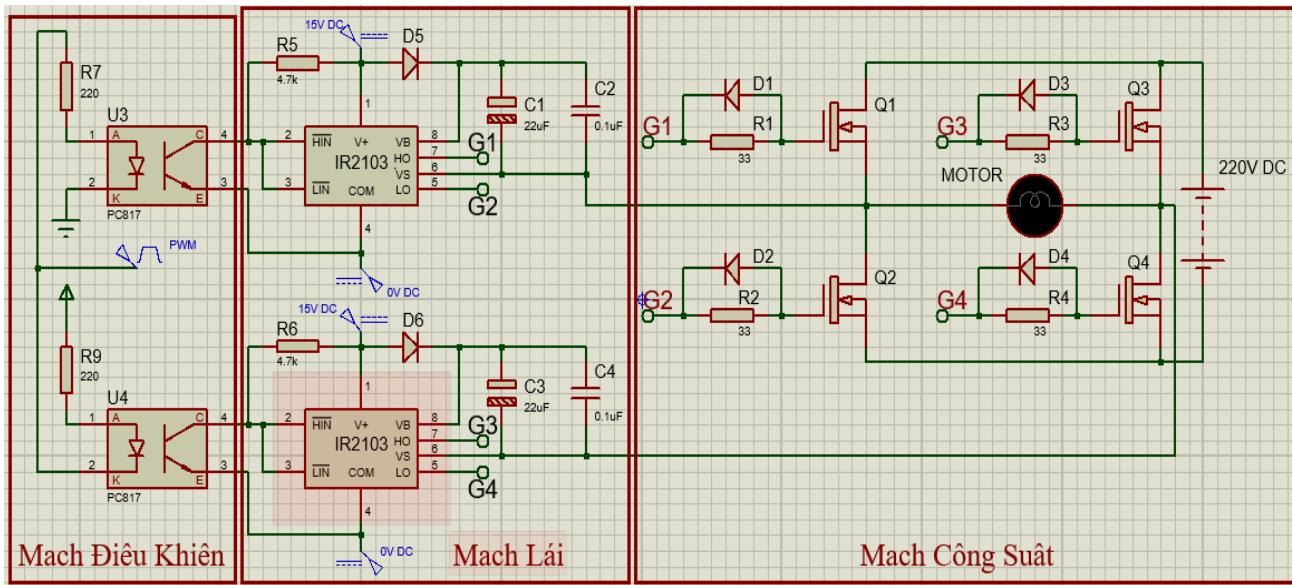
Chức năng của mạch cầu H là điều khiển chiều và tốc độ động cơ một chiều.

+ Phần điều khiển có thể dùng vi điều khiển hoặc IC555 phát xung PWM. Tốc độ động cơ tăng khi thay đổi độ rộng xung từ 50% về 0 hoặc 100%. Động cơ đảo chiều quay khi độ rộng xung thay đổi qua cột mốc 50%.

+ Phản mạch lái dùng IC IR2103 để đảm bảo khi dẫn các Mosfet dẫn bảo hòa, tăng hiệu suất cho mạch.

+ Mạch công suất dùng 4 Mosfet công suất lớn để phù hợp cho cả tải động cơ lớn.

Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor dc bằng mạch cầu H được vẽ như hình dưới.



Sơ đồ mạch dùng 4 Mosfet kênh N

+ Ưu điểm mạch điều khiển và động lực được cách ly tốt nên điện áp phần điều khiển không phụ thuộc phần mạch công suất. Do đó điều khiển được động cơ công suất lớn, điện áp lên đến 220V. Điều khiển đảo chiều động cơ bằng biến trở.

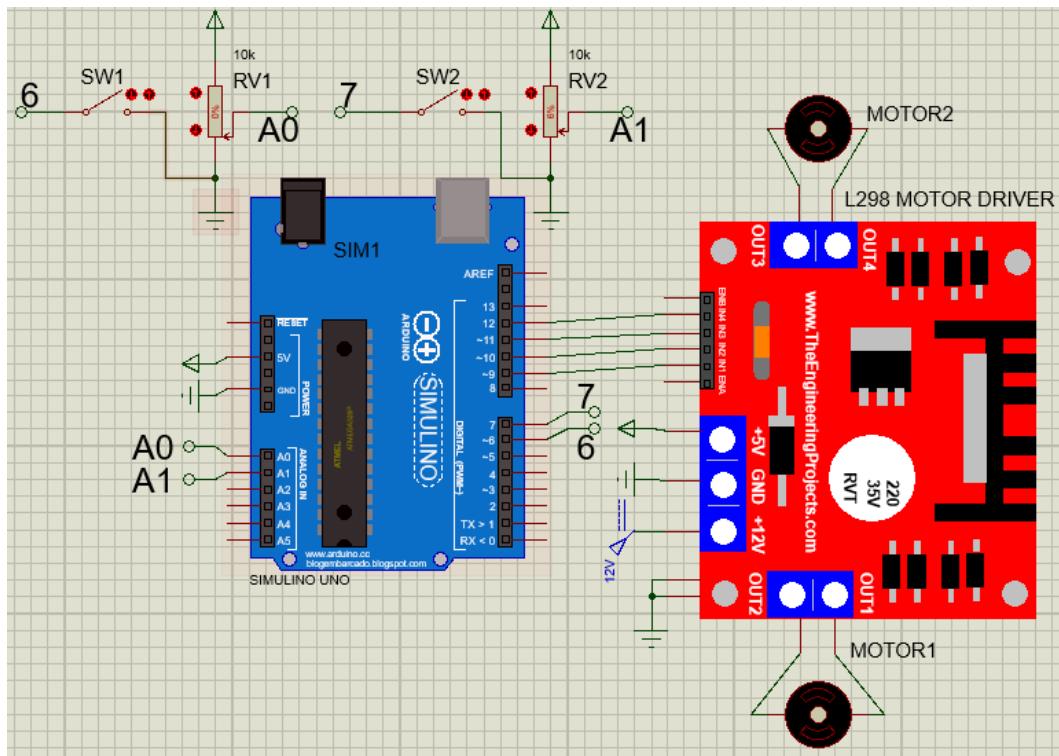
+ Nhược điểm: Mạch điện phức tạp, cần có kiến thức cơ bản về điện tử để làm mạch này.

Video mô phỏng trên proteus:

<https://youtu.be/zlXYqWaB79Y>

5. Sơ đồ mạch điều khiển tốc độ motor dc dùng module L298

Module L298 là mạch điện dùng IC L298 được tích hợp sẵn để người dùng dễ sử dụng. Một module có thể điều khiển độc lập 2 động cơ cùng lúc. IC chính L298 có cấu tạo gồm hai mạch cầu H Transistor.



Mạch điều khiển dùng module L298

Mạch có thể điều khiển chiều và tốc độ hai động cơ độc lập. Điện áp cấp tối đa là 35V và dòng điện không quá 2A cho mỗi động cơ.

+ Ưu điểm: Điều khiển độc lập 2 động cơ một chiều hoặc một động cơ bước. Giá thành rẻ và mạch nhỏ gọn, đơn giản đấu nối.

+ Nhược điểm: Để điều khiển được hai động cơ độc lập thì thông thường cần sử dụng thêm vi điều khiển. Công suất của mạch nhỏ, chỉ áp dụng cho động cơ công suất nhỏ, điện áp thấp.

Video mô phỏng:

https://youtu.be/GEelMd_AiX0